

Inter TeTra – Ein Projekt zur Implementierung von Mathematikdidaktik in die Physik-lehrerInnenbildung**Eduard Krause*, Simon Kraus*, Frederik Dilling*, Kathrin Holten*, Jochen Geppert*, Ina Milit-schenko*, Nguyen Van Bien⁺, Tran Ngoc Chat⁺, Nguyen Phuong Chi⁺, Tuan Le Anh⁺, Chu Cam Tho⁺ & Vu Dinh Phuong⁺**

* Universität Siegen, Deutschland

⁺Hanoi University of Education, Vietnam

krause@physik.uni-siegen.de

Kurzfassung

Die Vorteile von interdisziplinärem Lehren und Lernen in der Schule werden schon seit längerem diskutiert. Dabei offenbaren sich auch zahlreiche Herausforderungen. Um LehrerInnen adäquat auszubilden, d.h. sie in die Lage zu versetzen, solchen Herausforderungen angemessen begegnen zu können, sollten schon in der ersten Phase der Lehramtsausbildung Synergien zwischen den Fächern herausgestellt und genutzt werden. Mathematik und Physik sind aus erkenntnistheoretischer Sicht und von ihrer Geschichte her sehr eng miteinander verwoben. Im Physikunterricht stellt zudem gerade die zugrundeliegende Mathematik Lernende immer wieder vor Schwierigkeiten. Das im Vortrag vorgestellte Projekt Inter TeTra (Interdisciplinary Teacher Training) beruht auf der Annahme, dass bei der Professionalisierung von Physiklehrkräften neben fachmathematischen Inhalten auch mathematikdidaktische Aspekte von hoher Relevanz sind. In einer interdisziplinären Kooperation arbeiten daher die Mathematik- und Physikdidaktik der Universität Siegen und der Hanoi National University of Education an der Konzeption und Evaluation von interdisziplinären Lehrinterventionen in der Lehrerbildung.

1. Gründe für die Zusammenarbeit von Physik- und Mathematikdidaktik**1.1. Zum Zusammenhang von Physik und Mathematik**

Da es in der Physik sehr häufig um die Bestimmung von quantitativen Werten geht, ist die Mathematik als Werkzeug der Physik nicht wegzudenken. Die Beschränkung auf den Werkzeugcharakter allein greift bei Beschreibung der Bedeutung von Mathematik für die Physik aber zu kurz. Die Mathematik kann in der Physik auch als strukturgebende Instanz oder als Sprache angesehen werden, durch die physikalische Sachverhalte präzise und allgemeingültig ausgedrückt werden können. Darüber hinaus spielt die Mathematik in der Physik auch eine sehr wichtige erkenntnistheoretische Rolle (Krause, 2017a). Seit Galilei sind nicht mehr nur empirisch induktive Schlüsse maßgeblich für die Erkenntnisgewinnung in der Physik, sondern logisch deduktive Schlüsse (Militschenko & Kraus, 2017). Durch diese Implementierung der Mathematik in die Physik in der sogenannten experimentellen Methode gilt Galilei als der Begründer der Physik im eigentlichen Sinne (Schwarz, 2009; Kuhn, 2016 oder auch Galili, 2018). Die Mathematik gehört folglich genuin zur Physik. Wohl unterscheidet sich die Schulphysik von der allgemeinen Physik gerade im Gebrauch der Mathematik (Krause, 2016a), aber auch im Physikunterricht ist die Mathematik unerlässlich (DPG, 2016). Das schlägt sich

auch in der Physikdidaktik nieder. Die Rolle der Mathematik beim Lehren und Lernen von Physik wurde in der jüngeren Vergangenheit in einigen Arbeiten beforscht. Exemplarisch sei auf die Dissertationen von Olaf Uhden (2012) und Olaf Krey (2012) sowie auf das Heft zur Mathematik im Physikunterricht von Pospiech und Karam (2016) verwiesen. Dabei setzt sich die Physikdidaktik vor allem mit den praktischen Problemen auseinander, die SchülerInnen im Umgang mit Formeln haben, wie etwa dem Umgang mit unterschiedlichen mathematischen Darstellungsformen (Geyer & Pospiech, 2017) oder dem Umgang mit Formeln (Strahl et al. 2017, 2015; Strahl & Thoms 2012; Müller & Heise, 2006). Es zeigt sich, dass die Probleme, die SchülerInnen mit der Mathematik im Physikunterricht haben, daher rühren, dass mathematisches Wissen und Fertigkeiten nur sehr schwer in den Physikunterricht transferiert werden können (Rebello et al., 2007; Redish, 2006; Bing & Redish, 2009). Wie sollte die Physikdidaktik mit den Herausforderungen, die die Mathematik in der Physik mit sich bringt, umgehen? Im Physikunterricht sind damit nicht nur Inhalte der Mathematik und deren technische Handhabe relevant, sondern auch die Denk- und Arbeitsweisen der Mathematik (Pospiech et al., 2015) und damit auch die Didaktik der Mathematik (Krause, 2017b). In den genannten Forschungen der Physikdidaktik zur Rolle der Mathematik in der Physik wird zwar auch die Mathematikdidaktik bedacht, aber es

sind in der Regel keine Forschungstätigkeiten, bei denen Physik- und Mathematikdidaktik gleichermaßen zusammenarbeiten. Eine solche Kollaboration könnte neue Perspektiven auf den Umgang mit Mathematik im Physikunterricht eröffnen, Synergien identifizieren und nutzen, denn die Verbindung zur Physik ist auch aus mathematikdidaktischer Perspektive sehr bedeutsam. Neben der Erfahrung von Mathematik als deduktiv geordnete Welt eigener Art und dem Problemlösecharakter von Mathematik, sollen SchülerInnen die Mathematik auch in verschiedenen Anwendungen kennenlernen (Winter, 1996). Sie sollen mittels Mathematik Erscheinungen der Welt in einer spezifischen Art wahrnehmen und verstehen können. Jedoch wird bei solchen lebensweltlichen Bezügen nicht selten die Authentizität in Frage gestellt (Jahnke, 2005), da sich Kontextualisierungen häufig als eingekleidete Standardtechniken entpuppen. Eine Möglichkeit die Mathematik in „echten“ Anwendungskontexten zu erfahren liegt in der Eröffnung physikalischer Kontexte. MathematiklehrerInnen sollten demnach neben physikalischem Fachwissen auch über physikdidaktisches Wissen verfügen (Krause, 2017b).

1.2. Vorteile und Herausforderungen von interdisziplinärem Lehren und Lernen und deren Konsequenzen für die LehrerInnenbildung

Trotz der beschriebenen Synergien zwischen Physik und Mathematik (vgl. Krause et al., 2017) fällt es auf, dass die universitäre LehrerInnenbildung nach wie vor weitestgehend disziplinenorientiert organisiert ist. Daher wundert es nicht, wenn Lehrerinnen und Lehrer die mangelnde Passung einer nicht integrierten LehrerInnenbildung mit den Anforderungen eines fachübergreifenden Unterrichts (Bröll & Friedrich, 2012) immer wieder als Einwand gegen einen integrierten Unterricht anführen (Jürgensen, 2012; Rehm, et al. 2008). Um Synergien zwischen einzelnen Fächern zu nutzen und interdisziplinäres Lehren und Lernen mehr sein zu lassen als die additive Aneinanderreihung von Wissens-elementen aus unterschiedlichen Fachdisziplinen (Wellensiek, 2002 S. 80), sollten die Hochschulen dann nicht ganzheitliche Konzepte zur integrativen LehrerInnenbildung entwickeln und umsetzen? Solche Fragen, die die Wirkungsbereiche einer einzelnen Fachdidaktik überschreiten, sind von dieser allein nur begrenzt erkundbar. Die Physikdidaktik z. B. ist laut Kircher von sich aus bereits eine interdisziplinäre Wissenschaft (Kircher, 2015, S. 9), dabei führt er jedoch ausschließlich andere Fachwissenschaften wie die Pädagogik oder die Chemie etc. auf, ohne andere Fachdidaktiken in den Blick zu nehmen. Daher versucht dieser Beitrag fachdidaktikenübergreifende Forschungs- und Lehrprojekte am Beispiel der integrativen LehrerInnenbildung zu motivieren und eine Zusammenarbeit der verschiedenen Fachdidaktiken in möglichen Themen für eine Wissenschaftskollaboration zu konkretisieren.

1.3. Ziele des Inter TeTra Projekts

Aufgrund des beschriebenen Zusammenhangs zwischen Mathematik und Physik arbeitet die Mathematikdidaktik in Siegen eng mit der Physikdidaktik zusammen, z. B. in interdisziplinären Lehrveranstaltungen wie FäMaPDi (Krause & Witzke, 2015) oder In-ForM PLUS (Holten & Krause, 2018). Das hier vorgestellte Projekt Inter TeTra (Interdisciplinary Teacher Training) umfasst die Zusammenarbeit der Mathematik- und Physikdidaktik der Universität Siegen und der Hanoi National University of Education (HNUE). In Vietnam werden LehrerInnen nur in einem Fach ausgebildet, wodurch sich eine besondere Relevanz solcher interdisziplinärer Lehrinterventionen ergibt. Die Zusammenarbeit zwischen den Arbeitsgruppen in Siegen und Hanoi ist zudem darin begründet, dass das Bildungssystem in Vietnam durch die Entwicklung eines stärker kompetenzorientierten Lehrplans reformiert werden soll. Vietnam möchte hier von den Erfahrungen mit der Bildungsreform in Deutschland nach der Jahrtausendwende profitieren. Dabei sollen auch neue Konzepte für die LehrerInnenbildung erarbeitet werden. Die Outcomes dieses Projekts sind die Konzeption eines Moduls für die Lehrerausbildung in den Fächern Mathematik und Physik an der HNUE, die Durchführung einer Fortbildung für praktizierende Lehrer in Vietnam, sowie die Erstellung eines Sammelbands, in dem Themen der Mathematik- und Physikdidaktik vergleichend diskutiert werden. Die Begleitforschung befasst sich vordergründig mit der Frage, wie das Bewusstsein für die Relevanz der Didaktik benachbarter Fächer durch interdisziplinäre Lehrveranstaltungen gesteigert werden kann. Die Ergebnisse dazu werden in anderen Publikationen veröffentlicht. Hier sollen die Projektidee und das Konzept der Lehrveranstaltungen vorgestellt werden.

2. Ein Beispiel zur Relevanz mathematikdidaktischer Inhalte für den Physikunterricht

Ein besonderes Fehlerpotential beim Lernen von Physik liegt in der Verwendung von Formeln (Strahl et al., 2010). PhysiklehrerInnen selbst sollten sicher im Umgang mit Mathematik sein, aber darüber hinaus sind auch mathematikdidaktische Kompetenzen wichtig, um SchülerInnen beim Umgang mit Mathematik im Physikunterricht zu unterstützen. In der Mathematikdidaktik werden typische Fehler im Umgang mit Formeln schon länger diskutiert. Im deutschsprachigen Raum im Bereich der Didaktik der Algebra sind vor allem die Werke von Günther Malle zu nennen. Das Werk von Günther Malle zu didaktischen Problemen der elementaren Algebra (Malle, 1993) wurde in einer Phase verfasst, in der die Mathematikdidaktik sehr stoffdidaktisch geprägt war. Bis heute sind Malles Beiträge zur Didaktik der Algebra rege zitiert (z. B. Göbel und Barzel, 2017). Auch in

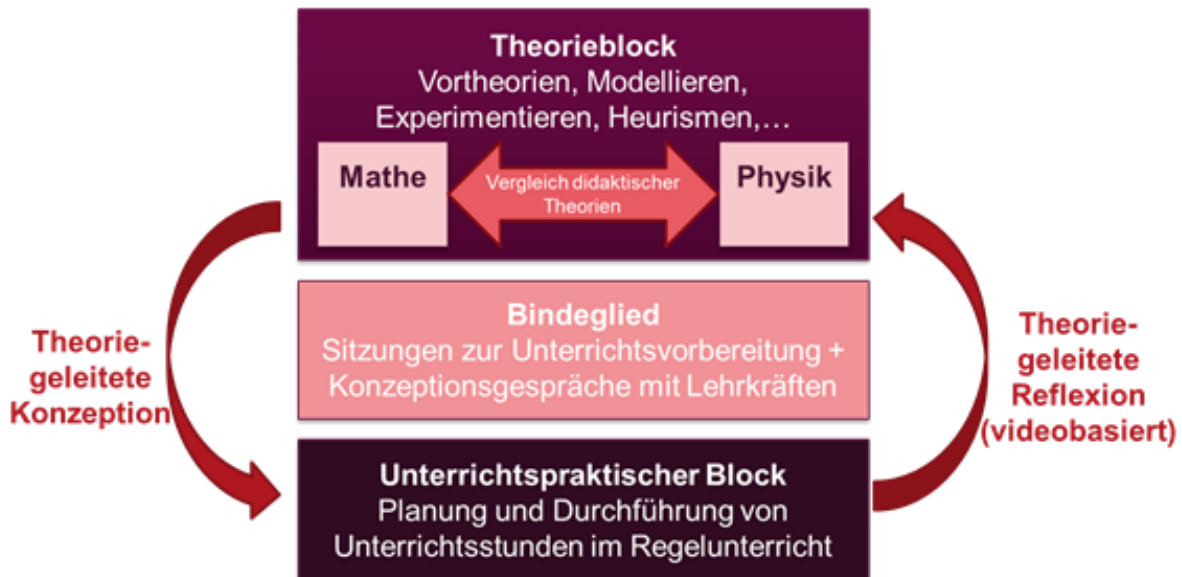


Abb. 1: Schematische Darstellung des Konzepts der Lehrveranstaltungen im Inter TeTra Projekt.

entsprechenden Lehrveranstaltungen wird Malles Monographie häufig als Grundlage verwendet. Nach Malle sind beim Umgang mit Formeln neben den naheliegenden syntaktischen Fehlern, wie Rechenfehlern oder die Missachtung syntaktischer Konventionen, folgende semantische Fehler möglich:

Objekt-Zahl-Konvention: Dabei muss beachtet werden, dass ein mathematisches Symbol eine Variable ausdrückt und nicht den Gegenstand selbst.

Prozess-Resultat-Konvention: Algebraische Terme mit Operationszeichen werden von Lernenden oft als Handlungsaufforderung aufgefasst. Zum Erstellen einer Formel muss eine Verständigung darüber vorliegen, dass Operationszeichen Teil eines Terms sein dürfen ohne, dass damit eine Handlung aufgefördert wird. Ähnlich ist es mit dem folgenden Punkt.

Handlungs-Beziehungs-Konvention: Eine Formel kann als Aufforderung zur Rechenhandlung verstanden werden, gleichzeitig sagt eine Formel aber auch etwas über die Beziehung zwischen den jeweiligen Variablen aus.

Konvention der Bedeutungskonstanz: Wenn eine Größe mit einem mathematischen Symbol versehen wird, sollte dieses im Zusammenhang mit dieser Formel immer mit diesem Symbol dargestellt werden und nicht mit anderen. Andererseits sollten andere Variable nicht mit diesem Symbol versehen werden. Dabei sollten auch allgemeine Konventionen berücksichtigt werden, dass z. B. in der Geometrie Winkel mit griechischen Buchstaben symbolisiert werden, Seitenlängen mit kleinen lateinischen und Punkte mit großen lateinischen Buchstaben.

Gleichheit als Entsprechung: Die Konvention der Mathematik besagt, dass das Gleichheitszeichen numerische Gleichheit darstellt. Die von Hotelwerbungen oft gebrauchte Ausdrucksweise $4=3$, die ausdrücken will, dass 4 Nächte zum Preis von 3 gebucht

werden können, ist mathematisch inkorrekt. Ebenso muss gewährleistet sein, dass links und rechts vom Gleichheitszeichen Größen der gleichen Dimension stehen und nicht etwa $1\text{ l Limo} = 1\text{€}$.

Auswahl und Anordnung von Symbolen: Die Anzahl der Symbole in einer Formel sollte minimal sein. Bei nicht kommutativen Operationen muss die Anordnung bedacht werden (z. B. welches Symbol ist Minuend und welches ist Subtrahend in einer Differenz).

Im Rahmen einer Studie konnten Geyer und Krause alle diese Fehlertypen in SchülerInnenlösungen aus dem Physikunterricht wiederfinden (vorauss. 2019). Dazu wurde eine physikalische Aufgabenstellung analysiert, die die Wärme Gleichung betrifft. Diese wird im Physikunterricht der 8. Klassenstufe an sächsischen Gymnasien nicht nur qualitativ, sondern ebenso quantitativ behandelt und ggf. experimentell erarbeitet. Es sollte dazu eine Standardaufgabe, wie sie im Physikunterricht vorkommt, gelöst werden. Diese betrifft die Anwendung der Formel im Sinne einer Rechnung:

Eine Wärmflasche wird mit heißem Wasser gefüllt. Das Wasser hat die Masse 1 kg und die Temperatur 77 °C . Im Bett kühlt sich das Wasser über Nacht auf die Körpertemperatur des Menschen (37 °C) ab. Berechne die vom Wasser abgegebene Wärme.

(Hinweis: $c_{\text{Wasser}} \approx 4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$)

Die weitere Aufgabe besteht aus drei Teilaufgaben: Erstens einer Interpretation der Formel

$$Q = 0,5\text{kg} \cdot 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \cdot (90\text{ °C} - 12\text{ °C}) \{1\},$$

zweitens der Konstruktion einer ähnlichen Formel für den Vorgang „Eine mit heißem Tee gefüllte Tasse kühlt um 30 °C ab“,

und drittens einer Zuordnung der ersten Formel zu einem gegebenen $Q(\Delta T)$ -, $\vartheta(t)$ - oder $\vartheta(Q)$ -Diagramm.

Mathematikdidaktische Inhalte sind folglich auch für PhysiklehrerInnen der Sekundarstufe I von hoher Relevanz, wenn sie falsche Lösungen nicht gleich als solche abtuen wollen, sondern mittels differenzierter Diagnose gezielter Fördern wollen.

Neben diesem einen Beispiel lassen sich noch weitere Inhalte der Mathematikdidaktik nennen, die für den Physikunterricht relevant sind und entsprechend auch physikdidaktische Inhalte, die für den Mathematikunterricht relevant sind. Im Projekt Inter TeTra sollen durch die Zusammenarbeit von Physik- und Mathematikdidaktik solche Inhalte identifiziert und in die LehrerInnenausbildung an der HNUE in Vietnam implementiert werden.

3. Das Konzept der Lehrveranstaltungen im Rahmen von Inter TeTra

Die Laufzeit des Inter TeTra-Projekts beträgt vier Jahre. Im ersten Jahr (2018) haben sich die vietnamesischen Kollegen in Siegen an dem Pilotprojekt In-ForM PLUS (Holten & Krause, 2018) beteiligt und beide Seiten haben den theoretischen Rahmen des Projekts Inter TeTra diskutiert. Die Kurse für die HNUE werden im Jahr 2019 konzipiert und finden 2020 in Hanoi statt und werden 2021 wiederholt. Diese Kurse bestehen aus einem theoretischen und einem praktischen Teil (Abb. 1). Ziel der Lehrveranstaltungen ist es, die im Studium erlernten didaktischen Theorien der eigenen Disziplin mit den didaktischen Theorien des anderen Fachs zu vergleichen. Da für den theoretischen Teil nur eine begrenzte Anzahl von Sitzungen zur Verfügung steht, kann nur eine Auswahl von Themen getroffen werden, die für beide Fächer relevant sind. Ein Forschungsdesiderat, das sich aus dem Projekt ergibt, ist die Explikation von Themen, die für die Mathematik- und Physikdidaktik in Vietnam relevant sind. Aus diesem Grund werden Handbücher und Tagungsbände der Mathematik- und Physikdidaktik im Asiatischen Raum systematisch verglichen, um Schnittmengen zu identifizieren. Auch wenn die Ergebnisse dieser Studie noch ausstehen, kann eine exemplarische Auswahl von Themen, die für diesen interdisziplinären Austausch geeignet sind, auf Grundlage einer entsprechenden Untersuchung in Deutschland (Dilling et al., 2019) bereits aufgeführt werden: Nature of Science und Beliefs of Mathematics, Modellieren und Modelle, Problemlösen, Vortheorien. Diese Bereiche wurden im Sommer 2018 auf einer Klausurtagung in Hanoi diskutiert und als fruchtbare Anknüpfungspunkte festgehalten.

Neben dem theoretischen Block umfassen die in diesem Projekt geplanten Kurse auch den Unterricht an Schulen. Die Tatsache, dass die Didaktik eines benachbarten Fachs für das eigene Fach relevant sein kann, sollte durch die Konzeption, Umsetzung und Reflexion von Unterrichtsstunden bewusstgemacht werden. Die Unterrichtsstunden werden videografiert. Das Datenmaterial wird zur videogestützten Reflexion verwendet (Hoffart & Helmerich, 2016). Eine

solche theoriebasierte Reflexionsforschung im Unterricht ist noch nicht Teil der Lehrerausbildung in Vietnam. Bei dieser Reflexion werden nicht die Unterrichtsstunden als Ganze bewertet, sondern nur ausgewählte Szenen diskutiert, in denen die Didaktik des jeweils anderen Faches relevant wird.

4. Zusammenfassung

Forschungsziele des Inter TeTra-Projekts sind die Klärung relevanter Themen für den interdisziplinären Austausch zwischen Mathematik und Physikdidaktik in Vietnam und die Konzeption und Umsetzung eines entsprechenden Kurses im Rahmen der Lehrerausbildung und einer Lehrerfortbildung an der HNUE. Die Evaluation dieser Lehrinterventionen soll Aufschluss darüber geben, ob sich durch diese Lehrformate das Bewusstsein für die Relevanz der Didaktik des Nachbarfaches steigern lässt.

Da in diesem Projekt ein gedanklicher Austausch zwischen (lat. „inter“) insgesamt vier (gr. „tetra“) Instituten (jeweils die Mathematik- und Physikdidaktiken in Hanoi und Siegen) zustande kommen wird, trägt das Projekt den Namen Inter-TeTra.

5. Literatur

- Bing, T. J., & Redish, E. F. (2009). Analyzing problem solving using math in physics: Epistemological framing via warrants. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 5(2).
- Deutsche Physikalische Gesellschaft (2016). Physik in der Schule – Zusammenfassung. Eine Studie der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e. V., Januar 2016.
- Dilling, F.; Holten, K.; Krause, E. (vorauss. 2019). Explikation möglicher Themen für eine Wissenschaftskollaboration der Mathematik- und Physikdidaktik – Eine vergleichende Inhaltsanalyse von aktuellen Handbüchern und Tagungsbänden. In: *mathematica didactica*.
- Galili, I. (2018). Physics and Mathematics as Interwoven Disciplines in Science Education. *Science and Education*, 27, 7-37.
- Geyer, M.-A., & Pospiech, G. (2016). Diagramme im Physikunterricht. Hintergründe und Anregungen zur Förderung des Umgangs mit Diagrammen. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik. Mathematik im Physikunterricht* 153/154 (27), 36-40.
- Geyer, M.-A.; Krause, E. (eingereicht): Typische Fehler beim Umgang mit Formeln im Physikunterricht. In: *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule (PhyDid A)*.
- Göbel, L., & Barzel, B. (2017). Vergleich verschiedener dynamischer Visualisierungen zur Konzeptualisierung von Parametern bei quadratischen Funktionen. *Beiträge zum Mathematikunterricht 2017* (S. 457-460). Münster: WTM-Verlag.

- Hoffart, E. & Helmerich, M. (2016). „In der Situation ist mir das gar nicht aufgefallen!“ Reflexionsanlässe in der Lehrerbildung als Bindeglied zwischen Theorie und Praxis. In: U. Kortenkamp & A. Kuzle (Hrsg.): Beiträge zum Mathematikunterricht 2016. Münster: WTM-Verlag, 433-436.
- Holten, K. & Krause, E. (2018) InForM PLUS vor der Praxisphase - Zwischenbericht eines interdisziplinären Elements in der Lehramtsausbildung an der Universität Siegen. Proceedings of the Conference: Herausforderung Kohärenz, Praxisphasen in der universitären Lehrerbildung (HerKuLes), Wuppertal, 260-274.
- Jahnke, T. (2005): Zur Authentizität von Mathematikaufgaben. In: *Beiträge zum Mathematikunterricht*, 38.
- Kircher, E. (2015b). Einführung: Was ist Physikdidaktik? In Kircher, E., Girwidz, R. & Häußler, P. (Hrsg.). Physikdidaktik. Theorie und Praxis (S. 3-14). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Krause, E.; Witzke, I. (2015): Fächerverbindung von Mathematik und Physik im Unterricht und in der didaktischen Forschung. In: PhyDidB – Didaktik der Physik, Beitrag DD 8.3.
- Krause, E. (2016). Erkenntnistheoretische Parallelen zwischen Mathematik und Physik. In: PhyDidB - Didaktik der Physik, Beitrag DD 8.4.
- Krause, E. (2017a). Einsteins EJASE-Modell als Ausgangspunkt physikdidaktischer Forschungsfragen – Anregungen aus einem Modell zur Natur der Naturwissenschaft. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule (PhyDid A)* 1/16, 57-66.
- Krause, E. (2017b): Physikdidaktik in der Mathematiklehrerbildung? Anregungen zur fachdidaktisch verbindenden Lehrerbildung In: Beiträge zum Mathematikunterricht 2017. Münster: WTM-Verlag, S. 565-568.
- Krause, E.; Witzke, I.; Struve, H. (2017): Mathematik und Physik für den Schulunterricht gemeinsam denken – Ideen und Perspektiven für eine Zusammenarbeit. In: *Der Mathematikunterricht*, Jg. 63, Heft 5, S. 3-11.
- Krey, O. (2012). *Zur Rolle der Mathematik in der Physik. Wissenschaftstheoretische Aspekte und Vorstellungen Physiklernender*. Dissertation an der Universität Potsdam.
- Kuhn, W. (2016). Ideengeschichte der Physik – Eine Analyse der Entwicklung der Physik im historischen Kontext. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- Malle, G.; Wittmann, E. Ch., Bürger, H. (Hrsg.) (1993). *Didaktische Probleme der elementaren Algebra*. Wiesbaden: Vieweg.
- Militschenko, I.; Kraus, S. (2017) Entwicklungslinien der Mathematisierung der Physik – die Rolle der Deduktion in der experimentellen Methode. In: *Der Mathematikunterricht*, Jg. 63, Heft 5, S. 21-29.
- Müller, R., & Heise, E. (2006). Formeln in Physikalischen Texten: Einstellung und Textverständnis von Schülerinnen und Schülern. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 2/5, 62-70.
- Pospiech, G. (2016). Formeln, Tabellen und Diagramme. Einsatz verschiedener mathematischer Darstellungsformen im Physikunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik. Mathematik im Physikunterricht* 153/154 (27)
- Pospiech, G., & Karam, R. (2016). Mathematik im Physikunterricht. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik. Mathematik im Physikunterricht* 153/154 (27)
- Rebello, N. S., Cui, L., Benett, A. G., Zollman, D. A., Ozimek, D. J. (2007). Transfer of learning in problem solving in the context of mathematics and physics. In Jonassen, D. (Hrsg.), *Learning to Solve Complex Scientific Problems*. New York: Lawrence Earlbaum Associates.
- Redish, E. F. (2006). Problem solving and the use of math in physics courses. ArXiv Physics e-prints.
- Rehm, M., Bünder, W., Haas, T., Buck, P., Labudde, P., Brovelli, D., Ostergaard, E., Rittersbacher, C., Wilhelm, M., Gensenberger, R., Svoboda, G. (2008): Legitimationen und Fundamente eines integrierten Unterrichtsfachs Science. In: *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 14, 99–123.
- Schwarz, O. (2009) Die Theorie des Experiments – Aus der Sicht der Physik, der Physikgeschichte und der Physikdidaktik. In 180/2009, 15-20.
- Strahl, A., Müller, R., Hagendorf, S., Grobe, J. (2017). Just How Detering Are Formulas? *Scientia in educatione* 8 (Special Issue), 247-253.
- Strahl, A., Hemme, D., Herbst, M., Müller, Rainer (2015). Wie Studierende Formeln gliedern? *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung* Wuppertal 2015.
- Strahl, A., Grobe, J., Müller, R. (2010). Was schreckt bei Formeln ab? – Unterstützung zur Darstellung von Formeln. *PhyDid B – Didaktik der Physik – Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*, Hannover 2010.
- Uhden, O. (2012). *Mathematisches Denken im Physikunterricht – Theorieentwicklung und Problemanalyse*. Dissertation an der Technischen Universität Dresden.
- Wellensiek, A. (Hrsg.) (2002). Interdisziplinäres Lehren und Lernen in der Lehrerbildung: Perspektiven für innovative Ausbildungskonzepte. Weinheim, Basel: Beltz.
- Winter, H (1996): Mathematikunterricht und Allgemeinbildung. In: *Mitteilungen der Gesellschaft für Didaktik der Mathematik* Nr. 61, 3746.